商业化肉牛繁育大数据平台设计与关键技术

马为红[1,2]，李嘉位[1,2]，WANG Zhiquan[3]，高荣华[1,2]，丁露雨[1,2]，
于沁杨[1,2]，余礼根[1,2]，赖成荣[1,2]，李奇峰[1,2*]

（1. 北京市农林科学院信息技术研究中心，北京 100097；2. 国家农业信息化工程技术研究中心，北京 100097；
3. Agricultural，Life and Environmental Sci-Ag，Food & Nutrition Science Department，University of Alberta，
Edmonton，T6G 2R3，Canada）

摘　要：针对当前中国肉牛繁育管理水平和信息化智能化水平不高等问题，本研究借鉴国际先进肉牛养殖国家的经验，建立了适合中国的商业化肉牛繁育大数据平台。该平台主要完成肉牛种质信息资源的整合，在线自动测定肉牛关键繁育性状，全程服务支撑肉牛繁育过程，形成肉牛种质资源大数据分析决策，并实现肉牛联合育种创新模式。本文详细介绍了商业化肉牛繁育大数据软件平台开发思路，包括数据中心的实现、软件平台前端开发技术和后端开发技术等，并总结了该平台的关键技术创新和模式创新内容，包括肉牛种质资源与良种管理系谱深度挖掘技术，非接触式繁育性状自动获取评价技术，以及多源异构信息融合提供智能决策支持等，为中国肉牛种业发展提供可持续发展的信息化解决方案，以促进肉牛育种整体水平的提高。

关键词：大数据平台；信息资源整合；大数据分析决策；性状在线测定；联合育种

中图分类号：F326.3;TP31　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：SA202203005

引用格式：马为红, 李嘉位, WANG Zhiquan, 高荣华, 丁露雨, 于沁杨, 余礼根, 赖成荣, 李奇峰. 商业化肉牛繁育大数据平台设计与关键技术[J]. 智慧农业(中英文), 2022, 4(2): 99-109.

MA Weihong, LI Jiawei, WANG Zhiquan, GAO Ronghua, DING Luyu, YU Qinyang, YU Ligen, LAI Chengrong, LI Qifeng. Design and key technologies of big data platform for commercial beef cattle breeding[J]. Smart Agriculture, 2022, 4(2): 99-109. (in Chinese with English abstract)

1　引　言

肉牛是畜牧业的重要产品，良种是肉牛发展的先决条件和物质基础[1]。《农业部关于促进现代畜禽种业发展的意见》(农牧发〔2016〕10号)指出，“全面实施遗传改良计划，提升自主育种创新能力，强化科技支撑，形成科技支撑合力，开展联合攻关，研发一批先进实用技术，指导企业制定完善育种方案，开展经常性技术服务，提高畜禽企业良种繁育技术水平”。《全国肉牛遗传改良计划（2021—2025年）》（简称《计划》）指出，“到2025年培育5～8个肉牛新品种，品种登记覆盖到主要品种实现全部肉牛种公牛的生产性能测定和遗传评估，肉牛屠宰胴体重提高15%～20%，奠定肉牛业发展的优良种源基础”。《计划》中明确指出建立高效智能化数据采集系

收稿日期：2022-03-07

基金项目：国家重点研发计划重点专项国际合作项目（2018YFE0108500）

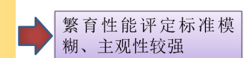
作者简介：马为红（1987—），男，博士，高级工程师，研究方向为智慧畜牧。E-mail：maweihong01@163.com

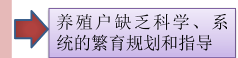
*通信作者：李奇峰（1981—），男，博士，研究员，研究方向为智慧畜牧。E-mail：nercita1017@163.com

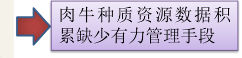
统，育种信息采集覆盖全产业链。

在肉牛养殖先进国家，基因组选育技术已广泛应用于实际生产[2]，并配备全国牛只档案管理系统，每头牛都有唯一编号，系统里包括系谱、免疫、交易等情况[3]，普遍利用计算机管理，根据不同养殖阶段进行饲料配置，提高生产效率。加拿大阿尔伯塔大学针对种群优化和基因组选育、肉牛繁育数据库建设与应用研究，专注于家畜应用基因组学和育种改良，主导了许多代表性的科研项目，相关研究经费总共超过3亿元人民币，并于2017年发布了第一个面向商业化肉牛产业的基因组工具，预订测试超过1500例，与来自世界各地的研究机构、家畜产业协会、政府机构、相关领域公司进行过合作。美国硅谷农业软件公司（Valley Ag.software）针对追踪牛只繁育、产量和健康状况相关信息的算法机制研究，设计开发了包含牛只繁育管理在内的“Dairy Comp 305”牧场管理软件包[3]，是世界范围内应用最广的牛场管理软件，覆盖了北美80%的牧场、大学和科研机构。加拿大肉牛育种协会针对种牛登记管理和评估，建立了全国性种牛登记和评估系统和体系，覆盖整个加拿大的肉牛繁育规划。

中国肉牛繁育起步较晚，良种繁育体系相对滞后，尚未形成产业化的生产模式。改革开放以来，中国肉牛业得到了快速发展，虽然现在已经成为世界上第三大牛肉生产国[4]，但是仍处于肉牛行业的初级发展阶段[5]，与肉牛养殖发达国家相比，存在一些突出问题：一是商业化生产过程中肉牛繁育思路不清晰、缺乏有效的规划与指导，良种化程度和覆盖率低[6]；二是繁育过程中信息化程度低，数据采集、传输、存储和共享方式落后，遗传改良连续性差，从而导致生产过程中不断更换父本品种，造成种群遗传背景混乱，生产性能停滞不前；三是自主繁育能力较弱，地方品种保护力度差、利用率低，品种性状亟待提升与优化以适应肉牛产业发展需求；四是繁育育种个人主观经验依赖度高，缺乏科学的智能化养殖装备、智慧化生产设施，肉牛繁育缺乏系统性的指导工具和系统，亟需通过构建国际合作优势互补和加强国内自主繁育投入来提高国内良种覆盖率，建立普惠的肉牛繁育指导技术体系。另外，目前中国大量依赖进口牛肉和活牛等问题突出[7]，2002年进口量为1.1万吨，2019年的进口量达到165.99万吨。群体规模化养殖企业不多，大多以小牧民形式养殖，规模以1～9头，10～49头和50～99头居多。繁殖效率不高，生长速度慢，遗传改良连续性差，一些优良地方品种资源流失等问题较为突出。图1针对当前中国肉牛繁育养殖存在问题进行了总结，建立商业化肉牛繁育大数据平台[8-11]从而解决中国面临的实际问题非常必要。







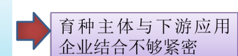


图1 中国肉牛繁育存在的主要问题

Fig. 1 Main problems of beef cattle breeding in China

商业化肉牛繁育大数据平台建设的主要目的是优化肉牛的遗传改良进程和有序解决肉牛育种和繁育过程中存在的实际问题，提供省力、智能和科学的一体化解决方案。针对肉牛育种数据信息记录不全和数据存在信息孤岛等问题，建立肉牛种质信息资源整合平台，构建不同良种肉牛种质资源的信息库；针对繁育性能评定标准模糊、主观性较强的问题，实现肉牛繁育性状科学的在线评定技术，实施非接触式的自动化获取与智能计算方法；针对养殖户缺乏科学、系统的繁育规划和指导的问题，进行肉牛繁育全程服务支撑系统研发，提供肉牛繁育过程保姆式繁育指导；针

对肉牛种质资源数据积累缺少有力管理手段的问题，建立肉牛种质资源大数据分析决策平台，建立先进的数字化认知和综合评判手段；针对育种主体与下游应用企业结合不够紧密问题，探索区域联合的创新性育种模式，实现育繁推一体化、区域育种合作化模式。

2　平台整体架构

商业化肉牛繁育大数据平台的整体目的是实现肉牛繁育性能在线评定、种质资源生产性能测定、遗传价值评估、后裔测定、智慧选育，确定肉牛品种特征性状及表达特征的度量与评价方法，实现肉牛科学选种和智慧选配，构建资源共享、互联互通和业务协同的区域性、全国性和国际化的联合育种创新模式。平台的主要用户群体包括全国种公牛站、核心育种场、育肥养殖场、院校和科研机构等，重点在肉牛种质信息资源整合，肉牛繁育性状在线评定，肉牛繁育全程服务支撑系统，肉牛种质资源大数据分析决策平台等几个内容取得突破并提供商业化的育种服务。各内容的逻辑关系如图2所示。

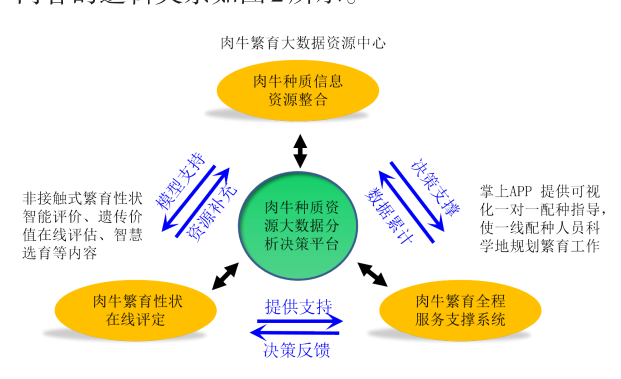


图2　商业化肉牛繁育大数据平台主要内容

Fig. 2 Main contents of big data platform for commercial beef cattle breeding

3　平台主要功能

3.1　肉牛种质信息资源整合

肉牛种质资源是肉牛良种繁育和遗传改良的重要物质基础，针对目前国内肉牛良种登记、选育和杂交改良计划和方案等记录不全、不清，无法有效地建立肉牛良种登记制度和相应的管理、运行体系等问题，建立肉牛种质资源大数据中心，实现全方位信息资源整合和基本信息自动更新入库，为肉牛种质智慧选育提供数据资源。肉牛种质信息资源整合主要实现以下功能，如图3所示。

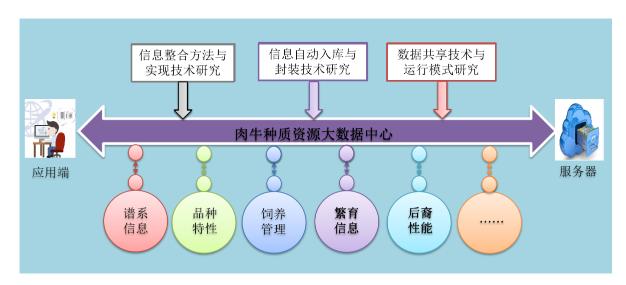


图3　肉牛种质资源大数据中心搭建技术图

Fig. 3 Technical diagram of big data center for beef cattle germplasm resources

（1）通过构建不同良种肉牛种质资源的信息库，制定肉牛良种繁育、登记、管理体系，实现种牛品种、谱系、特性、繁育性能、生产性能测定、饲养管理、肉质测定和市场营销等全方位资源整合；通过分析肉牛种质资源信息对象、数据结构形式、基本字段名称、语义模型等特点，构建整合数据库和信息库。

（2）通过肉牛种质资源与良种管理系谱深度挖掘技术，实现免疫、繁育等基本信息自动更新入库。利用数据仓储技术、中间件技术、数据挖掘技术[12]等信息整合实现技术，对位于不同领域、不同系统平台、不同数据结构的种质资源信息进行关联分析、聚类分析、分类分析、异常分析、特异群组分析和演变分析等深层次的数据分析信息整合。

（3）通过肉牛良种繁育、杂交改良信息资源封装技术，实现多元化、个性化的繁育方案一站式访问。基于ActiveX数据对象、Visual Basic宏语言[12]等的肉牛信息自动提取入库技术与肉牛良种繁育、杂交改良等应用场景中信息资源的封装格式和封装策略，实现多元化、个性化的繁育方案一站式访问，打通不同信息获取的设备、渠

道间数据共享障碍，从数据生成、数据归集和数据使用三个层面，研究现代肉牛繁育数据共享运行模式。

肉牛种质资源数据平台主要内容涵盖肉牛基本信息、种母牛数据信息、种公牛数据信息、商品牛数据信息等，功能组成如图4所示。

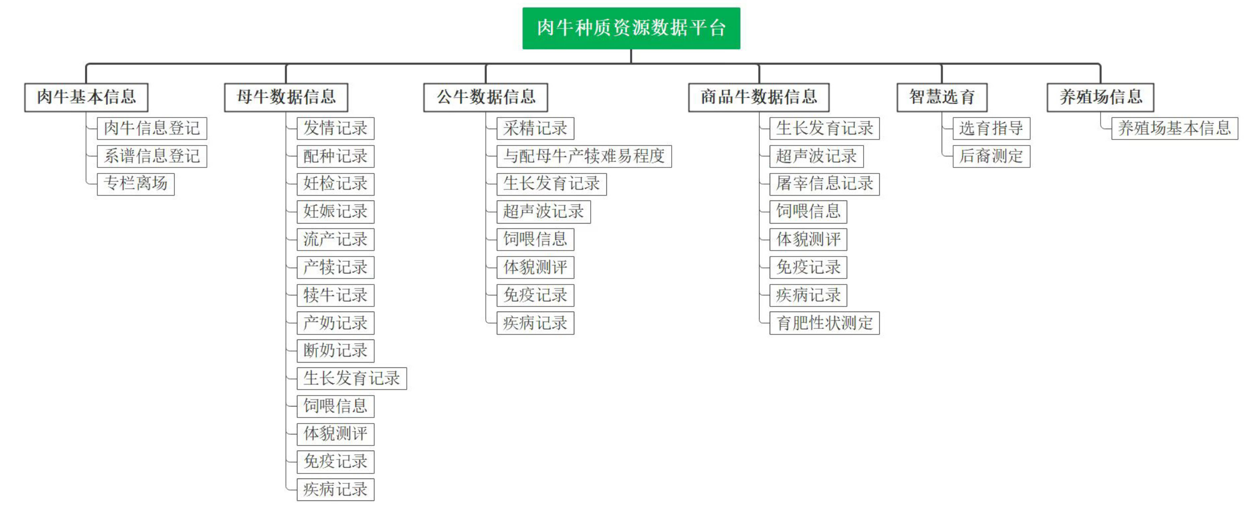


图4　肉牛种质资源数据平台功能图

Fig. 4 Functional diagram of data platform for beef cattle germplasm resource

3.2 肉牛繁育性状自动在线测定

目前中国肉牛改良水平较低的一个关键原因是缺乏准确的生产和繁殖性能测定数据，从而失去遗传改良的依据。肉牛育种的性能测定是育种中成本较高的工作，如何科学、客观、准确、快速、低成本地获得繁育性状表型基础数据，比如体尺、日增重、饲料转化率和繁殖数据等，是中国肉牛遗传改良的关键。

针对目前商业化生产过程中繁育性能评定标准模糊、育种评定结果主观性较强等问题，开展了以下内容的研究。

（1）建立了不同品种肉牛一般外貌、肉用特征、生产性状特征和肢蹄等评定量化标准，确定了表达品种特征性状的线性度量与评价方法，实现繁育性状个性化评价。针对肉牛繁育性状相关的肉牛体型体况参数自动化获取与在线综合评定问题，制定了肉牛评定量化标准，明确细化定量化肉牛繁育性状指标体系，并研究了定量化指标与传统的定性评价之间的层次对应关系。

（2）研究了肉牛体型参数计算机视觉监测技术，根据体高、体斜长、管围、胸围、腹围和体重等特征值，实现非接触式高通量的繁育性状自动在线评定。如基于机器视觉的肉牛体型参数的自动测量方法、基于多角度图像的肉牛体表三维重构、基于深度传感器的肉牛体表三维模型重构、基于多角度图像的数据融合与处理、基于肉牛体表三维模型的体况参数提取与计算、基于动态图像序列的肉牛运动特征提取等方法，实现肉牛体尺体重等特征参数的获取[13,14-16]。

（3）集成计算机视觉、物联网、大数据和人工智能技术[17]，结合肉牛的自然生长特性和传统的肉牛繁育性状评价方法，开发了肉牛繁育性状在线测定技术方法体系，建设了肉牛繁育性状数据库，实现肉牛繁育性状相关的体型体况参数自动化获取与智能分析，以减少人为测量费事费力的问题。肉牛体貌和体况自动采集流程如图5所示。

（4）构建了肉牛繁育性状评价模型，开发了基于移动设备的肉牛繁育性状在线评定系统平台，统一数据规范，提升肉牛良种选育的效果。研究了肉牛繁育性状数据库构建与肉牛繁育性状

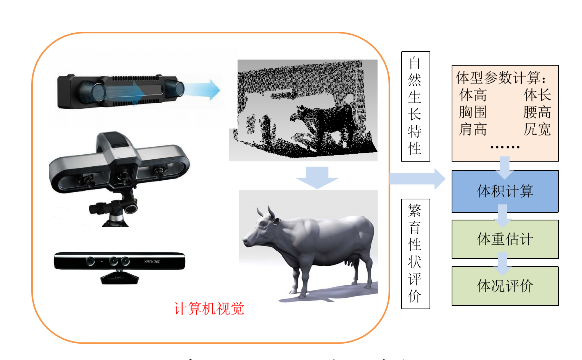


图5 肉牛体貌和体况自动采集流程图

Fig. 5 Automatic collection diagram of beef cattle body appearance and condition

数据库分布式布局、数据安全机制和大规模并发访问机制；基于大数据和人工智能的肉牛繁育性状海量数据分析和特征提取方法，明确肉牛体高、体直长、管围、胸围和腹围等特征参数对肉牛繁育性状评价结果的影响程度与权重。肉牛繁育性状在线评定平台示意图如图6所示。

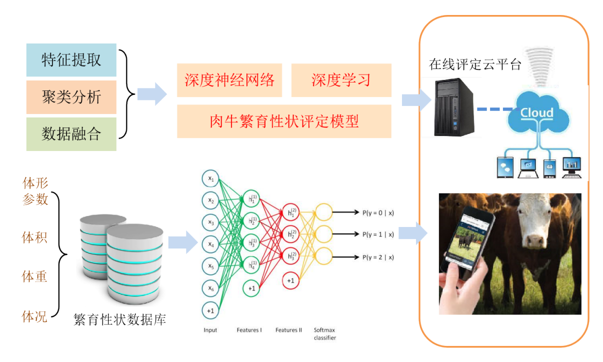


图6 肉牛繁育性状在线评定平台示意图

Fig. 6 Schematic diagram of online evaluation platform for breeding traits of beef cattle

3.3 肉牛繁育全程服务支撑

针对肉牛繁育技术推广服务体系不健全，围绕肉牛良种扩繁、种质资源保护、品种改良、疫病防治、饲料配制和生态养殖等关键技术，实现肉牛繁育全程服务支撑。

（1）整合不同良种肉牛繁育方法、不同配种方案、繁育性能测定、疫病净化等图像与视频资源，通过分类索引，实现肉牛繁育知识的在线培训，提高配种人员的繁育技能。

（2）开发了掌上繁育APP，根据种牛品种与养殖习性，提供图形化保姆式一对一配种指导功能，指导一线配种人员科学、有规划地开展繁育工作。通过对核心育种场、种公牛站、育种繁育户需求调研，针对当前肉牛繁殖的现状，结合其余肉牛繁育研究成果实现肉牛信息发布、肉牛智慧繁育助手平台和肉牛养殖繁育的知识库服务。肉牛繁育全程服务支撑系统掌上APP开发技术流程如图7所示。

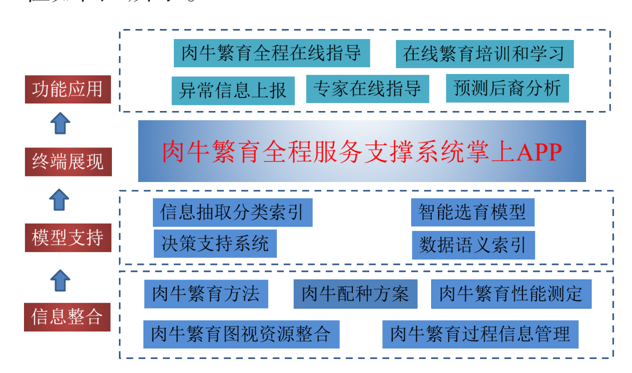


图7 肉牛繁育全程服务支撑系统掌上APP开发技术流程

Fig. 7 Handheld APP developing process of beef cattle breeding whole process service support system

肉牛繁育全程服务支撑系统如图8所示，服务云平台在互联网上实现肉牛繁育的服务功能；服务客户端采用微信小程序的形式，向用户提供肉牛繁育相关的服务；管理客户端提供后台管理功能。

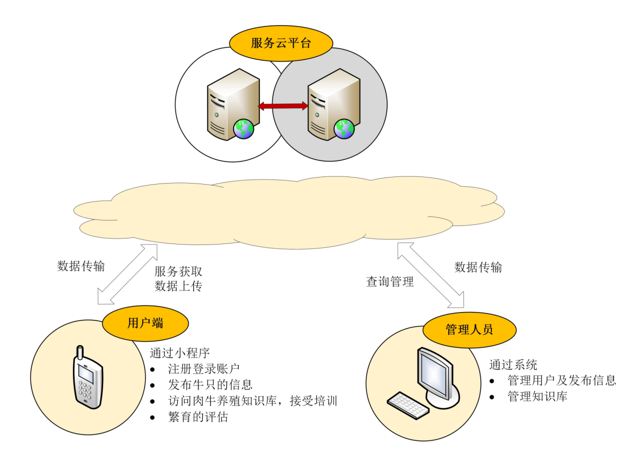


图8 肉牛繁育全程服务支撑系统云服务模式

Fig. 8 Cloud service mode of beef cattle breeding whole process service support system

在肉牛繁育全程服务支撑系统研发方面，通过信息资源整合机制定向在线抓取网络视频资源，实现肉牛繁育过程的海量数据存储和视频源的监控与更新等内容；建立肉牛繁育图视资源的关系型数据库，通过爬虫技术爬取网络资源将网络视频信息，包括检索字信息、URL信息存入数据库；根据用户索引习惯精准推送相关类型在线肉牛繁育学习资源，并使用数据索引技术快速自动索引个性化知识推送，提供保姆式在线繁育指导。

3.4 肉牛种质资源大数据分析决策平台

按照“平台上移，服务下延”的原则[18]，从繁育性状感知测定、感知数据云存储、应用资源池构建及服务定制、分析决策与智能控制等层面构建肉牛种质资源大数据云平台，重点挖掘肉牛种质资源大数据蕴含的丰富信息和潜在知识，研究肉牛种质资源大数据远程存储与智能分析决策等方法。肉牛种质资源大数据分析决策平台由存储层、服务层、接入层和应用层组成，协同完成不同良种肉牛种牛的品种、谱系、特性等数据接入、存储、分析、监控、管理、数据流转和数据服务发布，面向育种场、种公牛站和育种管理人员等提供遗传价值评估、育种值估计和后裔性能预测等分析决策服务。具体功能如下。

（1）生产性能测定：重点测定肉牛饲料报酬、日增重、体尺、眼肌面积、背膘厚和繁殖性状等指标。

（2）遗传价值评估：根据种牛的体质外貌特征、繁育性状和系谱信息等，估测种牛的近似价值。

（3）后裔测定：利用同期同龄比较法，根据种牛后代生产性能平均值判断被测种牛生产性能。

（4）基因组选择：采用基因组选择作为肉牛育种的主要手段，采用基因组遗传评估加速肉牛选育速度和水平。

（5）多组学信息收集：表达组、代谢组、蛋白组学信息的收集和采集为以后多组学融合提供决策依据。

（6）智慧选育：根据肉牛选育方向，针对不同种公牛站、育种场、繁殖场智能生成科学选种和选配方案。

利用人工智能、机器学习等现代信息技术，融合生产性能测定、遗传价值评估、后代生产性能测定等多源异构信息资源，集成大数据处理与分析模型，挖掘肉牛种质资源大数据蕴含的丰富信息和潜在知识，研究基于大数据资源的肉牛种质资源大数据智能决策服务模型，形成以数据为驱动的生态育种全新手段。肉牛种质资源大数据分析决策平台架构如图9所示。

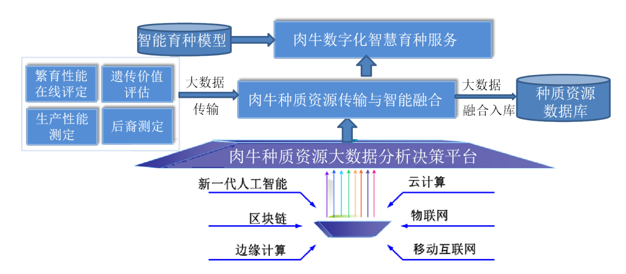


图9 肉牛种质资源大数据分析决策平台架构

Fig. 9 Framework of big data analysis and decision-making platform for beef cattle germplasm resources

3.5 肉牛联合育种服务

针对当前国内肉牛育种模式现状，建立区域性和全国性的联合服务平台，依靠政府机构和行业协会推进肉牛联合育种推广模式，学习借鉴国外先进育种推广模式，建立以市场为导向，以大型企业为主题（包括核心育种站、种公牛站、能繁母牛场）开展产学研育种模式，加强科研单位与核心育种场合作，依托有实力的龙头企业建立“育繁推一体化”的育种体系，打通产业链原有组织结构瓶颈，形成资源共享的区域性联合育种。

在创新性育种模式方面，针对产学研育种、联合育种、纵向协作和良种扩散的典型育种模式，基于人才、市场、技术、种质资源和资金等育种要素，通过比较分析国内外现有肉牛良种繁

育体系运行方式、模式特征和适用条件，探索出中国肉牛育种协同发展机制与技术创新融合模式。肉牛联合育种模式框架如图10所示。

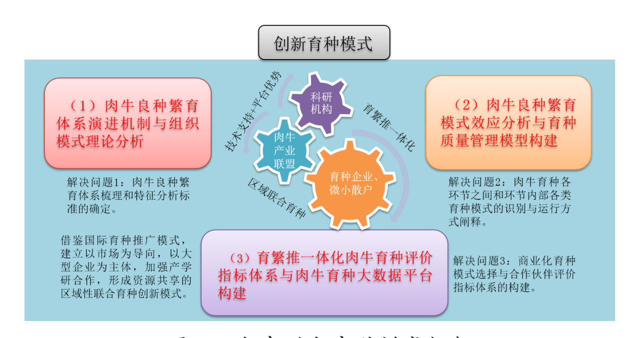


图10　肉牛联合育种模式框架

Fig. 10 Framework of beef cattle joint breeding model

4　软件平台开发

4.1 数据中心实现

根据国际肉牛种质资源的成熟经验结合国内肉牛繁育现状，构建了肉牛种质资源数据库和肉牛繁育性状数据库。其中对肉牛种质资源数据库搭建了31个数据表，共390个数据字段；对肉牛繁育性状数据库搭建了12个数据表，共198个数据字段，分别定义了各个细分的字段名称、字段英文和字段类型。

采用MySQL数据库进行肉牛信息的数据存储。MySQL数据库对于不同的数据存储都具备最优的数据引擎进行数据存储操作，面对肉牛繁育过程数以万计的庞大数据量操作时，能够快速、准确地完成相应的数据操作，因此，能够满足平台一系列数据操作，高效且稳定地维持系统平台数据正常运行。在平台开发过程中，搭配Redis数据库进行数据缓存[19]，最大程度地提高肉牛繁育大数据平台系统的访问使用效率。在后台与数据库建立正常稳定的连接后，每次通过平台查询数据时，都会向数据库发起请求，数据库会将对应的数据返回给后端，这个过程中对每次查数据的请求会先访问缓存数据库，如果缓存数据库有对应的数据，会将该数据返回给后端，如果没有该数据，请求再访问MySQL数据库，并将MySQL数据库查到的对应数据在缓存数据库当中也保存一份，同时将该用户请求的数据返回给后台，后面相同请求到达时，不会频繁访问数据库，节约系统资源，提高系统运行效率。商业化肉牛繁育大数据平台数据库调用流程如图11所示。

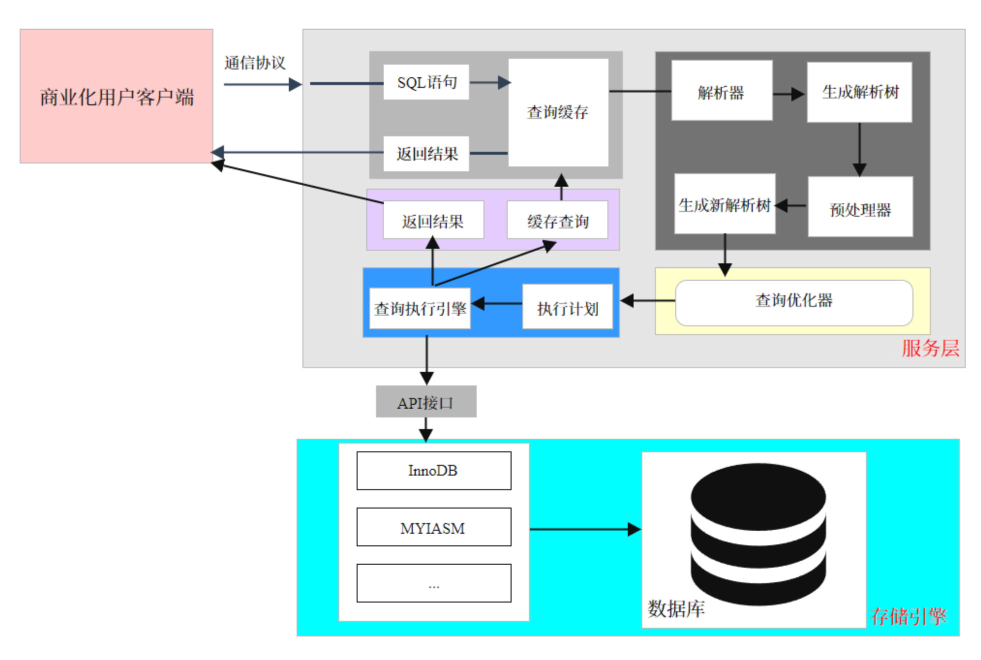


图11　商业化肉牛繁育大数据平台数据库调用流程

Fig. 11 Database invoking process of big data platform for commercial beef cattle breeding

4.2 平台开发思路

该平台在设计开发时考虑了三个角色，分别是总管理员、系统管理员和养殖场管理员，三个角色通过Sureness权限控制技术，分别使用对应权限的界面。系统管理员的界面使用Thymeleaf[20]和Layui以及HTML、CSS等进行前端页面的渲染和交互，主要是系统管理员对于系统的用户角色以及资源等进行展示和操作。

总管理员在登录系统后，所展示的都是系统当中所有养殖场数据的一个综合展示与操作的系统。首页主要对于系统当中的总养殖场数量以及各个养殖场的存栏数的一些信息采用Layui的数据表格技术进行展示。除了首页以外，整个系统当中对于种母牛、种公牛和商品牛的一些信息的表格展示方面均由该技术实现。当进入种母牛数据界面触发Layui的交互技术，向后端对应的接口发送数据请求，后端在接到对应的请求信息后，通过Mybatis-Plus和Spring[21]等技术，拿到数据库对应的数据进行筛选、封装等操作，然后将封装好的数据发送给前端。前端Layui接到返回的数据后，将对应的数据采用数据表格进行渲染，即可实现肉牛数据的信息展示。

对于系统当中的批量上传功能，设计好批量上传的文档模板，将该模板存放在系统当中，用户每次批量上传数据之前，下载该模板，将所有需要上传的数据按照模板规定的方式进行填报，最后选择批量上传。将这个文件发送给后台对应的批量上传处理接口，后端拿到批量上传的文件后，使用POI（Poor Obfuscation Implementation）技术，将批量文件当中的数据与实体类进行一一对应封装，然后将封装完成的实体类数据利用Mybatis-Plus和Spring等技术存入数据库。

对于系统当中的肉牛档案功能，设计好档案展示的模板，查询到档案当中对应的信息，使用POI技术，将数据和模板进行对应渲染，用实际数据取代模板当中的占位符，之后再将该文件使用JODConverter技术[22]搭配LibreOffice软件，实现档案的Word、PDF等文件格式的输出展示。

养殖场管理员角色除了以上技术以外，还有图视化展示等功能，该模块在请求后端得到对应的数据后，使用ECharts技术对返回的数据进行视图渲染，整个系统运用了多项技术进行搭配开发实现不同的功能。商业化肉牛繁育大数据软件平台运行架构主要由中央控制器、处理器映射器、处理器适配器和视图解析器等组成，如图12所示。

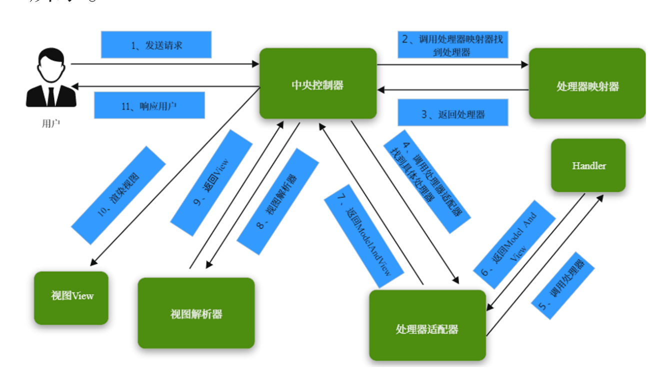


图12　商业化肉牛繁育大数据软件平台运行架构

Fig. 12 Operation architecture of big data software platform for commercial beef cattle breeding

4.3 软件平台前端开发技术

商业化肉牛繁育大数据平台在前端页面开发时，在静态页面开发和渲染方面采用了HTML、CSS以及Layui和Thymeleaf等框架。对于平台和后端的数据交互方面，采用了JavaScript技术实现，在保证交互过程的高效率且安全、准确的同时，还具备操作简单、轻量级、易于上手等优点，能够为平台的运行使用提供可靠、稳定的工作条件。

4.4 后端开发技术

商业化肉牛繁育大数据平台后端采用Java语言进行开发，同时，搭配Spring boot框架作为核心架构，采用Sureness技术进行权限管理。Sureness技术在权限控制方面具备更加细化的优点，在数据缓存上与Redis进行配后使用，对于访问量大且访问效率高的功能，Redis的缓存技术很大程度满足了该平台的需求。在与数据库数据交互方面，采用了Mybatis-Plus和JPA（Java Persis-

tence API）技术，前者主要处理日常的功能交互数据，后者主要运用在权限控制相关的数据方面，对于肉牛性状自动获取设备等接口数据，采用了Socket技术接收接口数据，解析以及响应数据的返回。同时，平台还使用了Docker技术，实现了平台的可移植性。

5 关键技术和模式创新

商业化肉牛繁育大数据平台关键技术和模式的创新，主要包括以下内容。

5.1 肉牛种质资源与良种管理系谱深度挖掘技术

针对不同品种的肉牛，基于多途径收集在场肉牛的多维性状数据与全产业链信息，搭建良种种质资源数据库，整合种牛品种信息、祖代谱系、生长性能、饲养管理信息、肉质测定结果和市场营销数据等资源。并基于多维度全方位的肉牛种质资源数据，针对特定品种肉牛谱系与个体信息进行定向抽取，实现肉牛繁育全过程的大数据云存储、特定定时增量更新、数据转换与标准化处理。进一步通过深度信息挖掘技术，对各类肉牛育种数据信息进行耦合关系分析与判断，实现数据可视化与隐式关联模式开发，打通育种机构、育肥牛场、种公牛站之间的数据孤岛，构建不同肉牛良种的系谱关系模型，完成种牛身份系谱自助追溯、资源目标快速定位，建成肉牛系谱大数据中心。

5.2 非接触式繁育性状自动获取评价技术

肉牛表型数据是肉牛种质资源数据库的关键组成部分，非接触式肉牛性状自动获取与评价技术可以为肉牛表型数据的规范获取提供重要支撑，并可以改变肉牛生产与育种的现有模式。基于激光与TOF（Time of Flight）技术，在肉牛自由前行的瞬间采集其不同角度的深度图像数据，研究复杂环境下多角度三维点云融合与肉牛目标提取方法，实现了活体肉牛点云的三维重建与虚拟复原。针对复原的肉牛三维点云，开发算法实现肉牛关键部分的自动定位与识别算法，有效提取种牛与后裔牛的关键部位外部表型特征，通过自动分析并提取其体况评价结果和关键体尺参数数据，实现肉牛重要表型的自动获取与评价。进一步建立相关特征与肉牛生产性能关系的探索，实现了评估性状遗传价值分析，为配种决策提供依据。

5.3 多源异构信息融合提供智能决策支持

整合肉牛表型生产性能测定结果、遗传价值评估结果、后裔性能追踪结果和系谱关系数据等多源异构信息资源，利用人工智能、机器学习和大数据分析等现代信息技术深入挖掘表型-遗传特征之间的影响，探索并阐明其内在关联。进而针对不同的育种目标需求与不同肉牛个体的情况，基于其表型与性能参数实现育种值的自动估计，构建大数据下的肉牛个体选育最优化匹配模型，实现匹配选种方案和选配方案的自动决策建议，根据用户选育目标，通过交互式逐层决策支持方法推荐与配冻精。匹配算法具备结果反馈功能，根据用户反馈的配种决策效果进行自我学习更新与迭代，逐步实现肉牛的自动科学选种和选配。

6 结 论

本研究针对中国肉牛育种和繁育中存在的整体肉牛育种水平不高、繁育性状数据采集困难、系谱混乱、数据记录不清晰、选育选配凭靠经验等问题，通过挖掘肉牛种质资源大数据蕴含的丰富信息和潜在知识，实现种牛的体质外貌特征、系谱鉴定、肉牛后裔测定等育种智能化决策支持服务。

研究借鉴国际肉牛先进国家育种繁育经验，构建了融合肉牛种质信息资源整合、肉牛繁育性状自动在线测定、肉牛繁育全程服务支撑系统、肉牛种质资源大数据分析决策平台和联合育种服务模式的商业化肉牛繁育大数据平台。平台当前

在内蒙古、甘肃和宁夏等肉牛养殖大省有了良好的应用，初步实现了商业化的运营服务。

参考文献：

[1] 宋虎振. 以肉牛产业为突破口 推进畜牧业供给侧结构性改革[J]. 中国畜牧兽医文摘, 2016 (9): 6-7.
SONG H. Taking the beef cattle industry as a breakthrough to promote the supply-side structural reform of animal husbandry[J]. China Animal Husbandry and Veterinary Digest, 2016 (9): 6-7.
[2] 谭萍. 肉牛遗传育种与繁殖技术发展趋势[J]. 中国畜禽种业, 2021, 17(3): 101-102.
TAN P. Development trend of genetic breeding and reproduction technology for beef cattle[J]. China Livestock Breeding Industry, 2021, 17(3): 101-102.
[3] JEBALI C, KOUKI A. A proposed prototype for cattle monitoring system using RFID[C]// 2018 International Flexible Electronics Technology Conference (IFETC). Piscataway, New York, USA: IEEE, 2018: 1-3.
[4] 任继周, 李发弟, 曹建民, 等. 我国牛羊肉产业的发展现状, 挑战与出路[J]. 中国工程科学, 2019, 21(5): 67-73.
REN J, LI F, CAO J, et al. The development status of China's beef and mutton industry, challenges and future[J]. China Engineering Science, 2019, 21(5): 67-73.
[5] 秦立红, 李姣, 吴健, 等. 地方黄牛遗传改良的现状和建议[J]. 中国畜禽种业, 2021, 17(11): 121-122.
QIN L, LI J, WU J, et al. Current status and suggestions for genetic improvement of local yellow cattle[J]. China Livestock and Poultry Breeding Industry, 2021, 17(11): 121-122.
[6] 朱波, 李宏伟, 周姵诺, 等. 国内外肉牛遗传评估体系概况[J]. 畜牧兽医学报, 2021, 52(6): 1447-1460.
ZHU B, LI H, ZHOU P, et al. Overview of genetic evaluation systems for beef cattle at home and abroad[J]. Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2021, 52(6): 1447-1460.
[7] 王佳, 卢骁, 张一敏, 等. 中国肉牛屠宰加工企业生产状况调研[J]. 肉类研究, 2018, 32(7): 18-22.
WANG J, LU X, ZHANG Y, et al. Research on the production status of beef cattle slaughtering and processing enterprises in China[J]. Meat Research, 2018, 32 (7): 18-22.
[8] GU M, HOU B, ZHOU J, et al. An industrial internet platform for massive pig farming (IIP4MPF) [J]. Journal of Computer and Communications, 2020, 8(12): 181-196.
[9] WOLFERT S, GE L, VERDOUW C, et al. Big data in smart farming—A review[J]. Agricultural Systems, 2017, 153: 69-80.
[10] RUNCK B C, JOGLEKAR A, SILVERSTEIN K A T, et al. Digital agriculture platforms: Driving data - enabled agricultural innovation in a world fraught with privacy and security concerns[J]. Agronomy Journal, 2021: 1-9.
[11] NEWTON J E, NETTLE R, PRYCE J E. Farming smarter with big data: Insights from the case of Australia's national dairy herd milk recording scheme[J]. Agricultural Systems, 2020, 181: ID 102811.
[12] LI H, GUO J. Teaching reform of computer basic course combined with specialty[C]// The 2nd International Conference on E-Education, E-Business and E-Technology. Beijing, China: Beijing University Of Technology, 2018: 68-72.
[13] QIAO Y, KONG H, CLARK C, et al. Intelligent perception for cattle monitoring: A review for cattle identification, body condition score evaluation, and weight estimation[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2021: ID 185.
[14] JIA N, KOOTSTRA G, KOERKAMP P G, et al. Segmentation of body parts of cows in RGB-depth images based on template matching[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2021, 180(4): ID 105897.
[15] COMINOTTE A, FERNANDES A F A, DOREA J R, et al. Automated computer vision system to predict body weight and average daily gain in beef cattle during growing and finishing phases[J]. Livestock Science, 2020, 232: ID 103904.
[16] BMMA, ALCM B, LFS A, et al. Estimating body weight, body condition score, and type traits in dairy cows using three dimensional cameras and manual body measurements[J]. Livestock Science, 2020, 236: ID 104054.
[17] 陈桂芬, 李静, 陈航, 等. 大数据时代人工智能技术在农业领域的研究进展[J]. 吉林农业大学学报, 2018, 40(4): 502-510.
CHEN G, LI J, CHEN H, et al. Research progress of artificial intelligence technology in agriculture in the era of big data[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2018, 40(4): 502-510.
[18] 彭冬梅, 郑新倩, 王森, 等. 互联网+ 农业气象服务方法思考与案例分析[J]. 气候变化研究快报, 2020, 9 (2): 106-113.
PENG D, ZHENG X, WANG S, et al. Internet agro-meteorological service methodologies and case studies[J]. Climate Change Research Letters, 2020, 9(2): 106-113.
[19] 金澈清, 钱卫宁, 周敏奇, 等. 数据管理系统评测基准: 从传统数据库到新兴大数据[J]. 计算机学报, 2015, 38(1): 18-34.
JIN C, QIAN W, ZHOU M, et al. Benchmarking data

management systems: From traditional databases to emerging big data[J]. Journal of Computer Science, 2015, 38(1): 18-34.
[20] LU P, LIU P, XU J. Design of intelligent warehouse management system based on MVC[J]. International Journal of Advanced Network Monitoring and Controls, 2021, 6(2): 79-87.
[21] LI Y, GAO S, PAN J, et al. Research and application of template engine for web back-end based on MyBatis-Plus[J]. Procedia Computer Science, 2020, 166: 206-212.
[22] JIANG L, XIN Z, ZHAO J. Implementation and comparison of the way that office document is converted to PDF documents in the Java runtime environment[J]. International Journal of Future Computer and Communication, 2015, 4(6): 431-434.

Design and Key Technologies of Big Data Platform for Commercial Beef Cattle Breeding

MA Weihong[1,2], LI Jiawei[1,2], WANG Zhiquan[3], GAO Ronghua[1,2], DING Luyu[1,2], YU Qinyang[1,2], YU Ligen[1,2], LAI Chengrong[1,2], LI Qifeng[1,2*]

（1. *Research Center of Information Technology*, *Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences*, *Beijing* 100097, *China*; 2. *National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture*, *Beijing* 100097, *China*; 3. *Agricultural, Life and Environmental Sci - Ag, Food & Nutrition Science Department*, *University of Alberta*, *Edmonton*, *T6G 2R3*, *Canada*）

Abstract: Focusing on the low level of management and informatization and intelligence of the beef cattle industry in China, a big data platform for commercial beef cattle breeding, referring to the experience of international advanced beef cattle breeding countries, was proposed in this research. The functions of the platform includes integrating germplasm resources of beef cattle, automatic collecting of key beef cattle breeding traits, full-service support for the beef cattle breeding process, formation of big data analysis and decision-making system for beef cattle germplasm resources, and joint breeding innovation model. Aiming at the backward storage and sharing methods of beef cattle breeding data and incomplete information records in China, an information resource integration platform and an information database for beef cattle germplasm were established. Due to the vagueness and subjectivity of the breeding performance evaluation standard, a scientific online evaluation technology of beef cattle breeding traits and a non-contact automatic acquisition and intelligent calculation method were proposed. Considering the lack of scientific and systematic breeding planning and guidance for farmers in China, a full-service support system for beef cattle breeding and nanny-style breeding guidance during beef cattle breeding was developed. And an interactive progressive decision-making method for beef cattle breeding to solve the lack of data accumulation of beef cattle germplasm was proposed. The main body of breeding and farming enterprises was not closely integrated, according to that, the innovative breeding model of regional integration was explored. The idea of commercial beef cattle breeding big data software platform and the technological and model innovation content were also introduced. The technology innovations included the deep mining of germplasm resources data and improved breed management pedigree, the automatic acquisition and evaluation technology of non-contact breeding traits, the fusion of multi-source heterogeneous information to provide intelligent decision support. The future goal is to form a sustainable information solution for China's beef cattle breeding industry and improve the overall level of China's beef cattle breeding industry.

Key words: big data platform; data resource integration; big data analysis and decision-making; online determination of traits; joint breeding